ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Arranjo Espacial da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau-Piauí a Partir da Análise Morfométrica e dos Aspectos Ambientais[1]

Cristiane Maria Cordeiro Santiago[2], Lidiane Cristina Félix Gomes[3], Marta Celina Linhares Sales[4], Jorge Eduardo de Abreu Paula[5]

[1]Parte da pesquisa de Mestrado do primeiro autor em Geografia na Universidade Federal do Ceará-UFC; [2]Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Ceará-UFC; [3]Doutoranda em Geografia na UFC. E-mail: lidiane.geo@gmail.com; [4]Prof. do Departamento de Geografia na UFC. E-mail: mclsales@uol.com.br; [5]Prof. do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Piauí-UESPI. E-mail: jorgeabreupaula@yahoo.com.br.

Artigo recebido em 20/01/2015 e aceito em 21/05/2015

R E S U M O

A bacia hidrográfica do rio São Nicolau está localizada no Norte do Piauí próxima ao limite com o Ceará. Cruza o território no sentido E-W até desaguar no rio Sambito, afluente do Poti, perfazendo uma área de, aproximadamente, 5.389,8 km^2. Possui grande importância no que tange a manutenção dos recursos hídricos nessa região, além de formar paisagens ruiniformes no domínio semiárido. Contudo, é uma área ainda ausente de estudos ambientais específicos. Diante do exposto, objetivou-se analisar a bacia a partir dos parâmetros morfométricos associados aos aspectos ambientais e as intervenções humanas para a compreensão da sua dinâmica. Para tanto, realizou-se levantamento bibliográfico e cartográfico. Utilizaram-se imagens de satélite, *shapes* e imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Estes dados foram analisados nos programas *Arcgis 10.1* e *Global Mapper*, os quais possibilitaram o cálculo e a análise dos parâmetros selecionados. As características físicoambientais, juntamente com os resultados da análise morfométrica, indicaram que a bacia não está propícia a inundações, apresenta densidade de drenagem tida como regular, altitudes pouco elevadas, entretanto, está susceptível à erosão. As formas de uso e ocupação contribuem, de certa forma, para o surgimento de problemas ambientais. Portanto, se faz necessária a realização de um adequado planejamento da área e reorientação na utilização dos recursos, uma vez que o manejo inadequado, associado às limitações naturais do ambiente semiárido, podem ocasionar danos irreversíveis ao meio ambiente e à população.

Palavras-chave: unidade de análise, morfometria, bacia de São Nicolau

Spatial Arrangement of River Basin São Nicolau-Piauí from the Morphometric Analysis and Environmental Aspects

A B S T R A C T

The basin of the São Nicolau is located in northern Piauí near the border with Ceará and crosses the territory in EW flowing to Sambito tributary of the river Poti, covering an area of approximately 5389.8 km^2. It has great importance about maintenance of water resources in this region besides forming ruiniform landscapes in semiarid area. However, miss specific environmental studies of area. Given the above, the objective was to analyze the basin from the morphometric parameters associated environmental aspects and human interventions to understanding its dynamics. It was conducted a bibliographic and cartographic survey. We used satellite images, shapes and images Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). These data were worked in the software Arcgis 10.1 and Global Mapper, which enabled the calculation and analysis of the parameters. The físicoambientais characteristics together with the results of morphometric analysis and ways to use and occupation indicated that the basin is not conducive to flooding; the drainage density has taken as Regular, there little high altitudes, but is susceptible to erosion. The forms for use and occupation contributed somewhat to the emergence of environmental problems. Therefore, it is necessary to conduct proper planning of the area and reorientation in the use of resources, since, inadequate management associated with natural fragility of the semiarid environment can lead to irreversible damage to the environment and population.

Keywords: analysis unit, morphometry,São Nicolau Basin.

* E-mail para correspondência: cristianesantiago21@gmail.com (Santiago, C.M.C.).

Introdução

A relação entre homem e natureza foi por muitos anos causa de uma série de debates entre os estudiosos. E, após a revolução industrial essa

questão ascende mais fortemente com uma preocupação maior voltada para a disponibilidade do recurso água, uma vez que, a velha concepção de que os recursos naturais eram infinitos começava a decair.

Nisso, o termo planejamento ambiental ficou mais evidente a partir da ECO 92, onde foi criada a Agenda 21 que pregava a ideia de planejamento em nível global, nacional, regional e local visando a qualidade de vida e a conservação e preservação ambiental (Queiroz, 2010).

Utilizar a bacia como unidade de pesquisa visando o planejamento das atividades inseridas na área é uma forma eficaz para a inserção de medidas que possibilite o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Para tanto, o conhecimento da dinâmica natural desse ambiente torna-se necessário para o sucesso do planejamento.

A bacia hidrográfica do rio São Nicolau está localizada ao norte do Piauí entre os paralelos 5°40' e 6° 10' S e os meridianos de 40°50' e 42°20' W, com a nascente do rio principal próximo ao limite do Piauí com o Ceará na cidade de Assunção do Piauí.

O rio cruza o território no sentido E-W desaguando no rio Sambito, afluente do Poti, os quais compõem a grande bacia do Parnaíba, cuja extensão territorial envolve os Estados do Piauí, Ceará e Maranhão.

A bacia em estudo engloba os municípios de Aroazes, Assunção do Piauí, Pimenteiras, Santa Cruz dos Milagres e São Miguel do Tapuio, perfazendo uma área de, aproximadamente, 5.389,8 km^2.

Segundo Mota (2008), a bacia hidrográfica surge como unidade a ser considerada quando se visa a proteção dos recursos hídricos, uma vez que as atividades na mesma tendem a influenciar a qualidade da água. É entendida como célula básica de análise ambiental. Através dela é possível conhecer e avaliar os diversos componentes, processos e interações que nela ocorrem. É possível, ainda, avaliar, de forma integrada, as ações humanas sobre o ambiente e suas implicações sobre o equilíbrio hidrológico da bacia de drenagem (Evangelista, 2009).

O ciclo hidrológico sofre a influência direta das características físicas e bióticas de uma bacia, pois, entre outros fatores, podem modificar a evapotranspiração, a infiltração, quantidade de água produzida como deflúvio, influencia o escoamento superficial e subsuperficial. Além disso, as intervenções humanas também afetam seu comportamento à medida que se apropriam do ambiente (Teodoro et al., 2007).

Conforme Cunha e Guerra (2009), as condições naturais e as atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica sofrem, em função de escala e intensidade, nesses dois elementos: alterações, efeitos e/ou impactos no comportamento da descarga, carga sólida e dissolvida, assim como poluição das águas.

Nesse sentido, a análise morfométrica se faz necessária, pois permite verificar as características existentes a partir de dados quantitativos. Também se torna relevante a compreensão dos elementos físicos (geologia, geomorfologia, clima, solo, vegetação) podendo, através deles, conhecer a variação no espaço dos elementos no regime hidrológico de modo que a organização do espaço se dê de forma que a ocupação e as atividades aconteçam em acordo com as limitações do espaço de interesse através de um bom planejamento na área.

Sendo assim, o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilita maior rapidez e precisão quanto aos resultados no que se refere à análise dos elementos físicos do ambiente, em especial, o estudo morfométrico, permitindo maior agilidade nas tomadas de decisão.

Como afirma Salles (2010), com o avanço da plataforma do SIG, a análise morfométrica tornou-se acessível proporcionando aos gestores maior agilidade na geração e diagnóstico das informações essenciais às tomada de decisões se comparados aos métodos ou técnicas manuais.

Para Christofoletti (1980), os índices e parâmetros essenciais para os estudos da análise morfométrica seguem quatro grupos: análise areal, hierarquia fluvial, análise linear e hipsométrica.

Segundo Tonello (2005), as características morfométricas podem ser agrupadas em: características geométricas, de relevo e de rede de drenagem.

Dentre as Características Geométricas, a Área da Bacia (A) é tida como área plana inserida entre seus divisores topográficos (Villela e Mattos, 1975). A partir desse parâmetro, os outros também podem ser calculados e analisados.

A análise da Forma da bacia é também de grande interesse porque mostra o tempo de concentração que tem início desde a precipitação. Ou seja, o tempo necessário que a água precipitada leva para chegar à saída da mesma. As bacias pequenas variam muito no formato dependendo da estrutura geológica do terreno (Villela e Mattos, 1975).

Existem vários métodos para se determinar a Forma da bacia, dentre eles, o cálculo geométrico que busca relacionar a forma da área às formas geométricas, o que é bastante eficaz.

Lee e Salles (1970) apresentaram o método em que, após a delimitação, traça-se uma figura geométrica (triangulo, retângulo ou círculo) que melhor cubra a referida área da bacia. Para esse

método, quanto menor for o resultado, mais próximo da figura é a forma da bacia (Christofoletti, 1980).

Outro parâmetro essencial no estudo da bacia diz respeito à densidade dos rios. Este se faz necessário, pois permite visualizar o comportamento hidrográfico da área pela capacidade de gerar novos cursos de água.

Dentre as características do relevo destaca-se a amplitude altimétrica, considerada a variação entre a altitude máxima e altitude mínima, e, a hipsometria. Esta última possui grande influência sobre os fatores meteorológicos em função da altitude, e, sobre os fatores hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial depende da declividade do terreno (Villela e Mattos, 1975). A magnitude dos picos de enchente, segundo Villela e Mattos (1975), e a maior ou menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre o terreno.

Em relação às características da rede de drenagem, a hierarquia fluvial consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso d'água. No critério introduzido por Horton (1945) e modificado por Strahler (1952), os rios são classificados da seguinte forma: são considerados de 1ª ordem os pequenos canais que não tenham tributários; quando dois canais de 1ª ordem se unem é formado o de 2ª ordem. A junção de dois rios de 2ª ordem forma o de 3ª ordem, e assim sucessivamente (Christofoletti, 1980). Deste modo, a ordem do rio principal mostra a extensão da ramificação da bacia.

O parâmetro sinuosidade do curso permite distinguir entre canais meandricos e os que não o são. Marcuzzo et al. (2012) afirmam que o índice de sinuosidade é a relação entre a distância da desembocadura do rio e a nascente mais distante medida em linha reta (*Ev*) e o comprimento do canal principal (*L*), sendo, primeiramente, necessário o cálculo deste último.

A densidade de drenagem, por sua vez, serve para indicar o grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. O estudo desse sistema traz informações consideráveis na análise da bacia, pois permite dizer a velocidade com que a água a deixa. Pode-se afirmar que este índice varia de 0,5 km/km^2 para bacias com drenagem pobre, até 3,5 ou mais para bacias bem drenadas (Villela e Mattos, 1975).

Além da análise morfométrica, certamente o levantamento dos aspectos físicoambientais da bacia permitem uma avaliação das condições ambientais mais apuradas. Também se torna crucial nesse ponto o estudo associado com as formas de uso e ocupação da bacia.

Compreender a dinâmica natural do ambiente através do levantamento das características principais da área ajuda a entender muitos fatos e particularidades surgidas que, por sua vez, influenciam na modificação da própria dinâmica local.

Nesse contexto, entende-se que qualquer atividade pode gerar modificações consideráveis no ambiente e que a ocorrência de impactos maiores em bacias hidrográficas se deve pela ocupação de forma desordenada e pela inserção de atividades bastante impactantes em regiões mais vulneráveis às modificações no meio natural.

Das principais atividades que podem contribuir para mudanças consideráveis na paisagem está a atividade turística que, ao ser realizada sem o devido planejamento, pode trazer complicações relevantes tanto no ambiente físico quanto no meio socioeconômico e cultural (Dias, 1999).

Outra atividade bastante impactante é a mineração que, por sua vez, degrada visualmente a paisagem, o solo e o relevo, além de alterar a qualidade da água, dentre outros problemas. A agricultura e a pecuária também não são exceções. Dos problemas gerados por estas atividades, quando realizadas de forma inadequada, destaca-se a contaminação do solo, da água, da fauna e da flora por agrotóxicos, a compactação do solo, a perda de nutrientes e a perda da fauna e flora, devido à retirada excessiva da vegetação original (Dias, 1999).

Outras ações que podem ocasionar alterações nas características do ambiente, além do desmatamento para expansão de terras para a agricultura, são as queimadas periódicas e a falta de técnicas de manejo adequadas, uso intensivo da terra, compactação, impermeabilização, aplicação de fertilizantes, salinização, entre outros. Todos estes aspectos repercutem na qualidade dos recursos hídricos, modificando a dinâmica natural e comprometendo os atributos e a quantidade desse recurso (Mota, 2008).

Além disso, existe a forte relação da agricultura com a irrigação, que no ambiente semiárido em muitos casos é necessária para se ter a produção o ano todo, porém, a irrigação pode favorecer a perda excessiva do solo, lixiviação e, comprometer a qualidade da água. Além de outros problemas, o aumento progressivo do escoamento superficial pode influenciar gerando sulcos de erosão e ravinamentos.

Na pecuária, os problemas ambientais podem ser originados pelo pisoteio excessivo do gado, o sobrepastoreio e a criação em regime extensivo, o que contribui para a degradação de grandes extensões de terras (Dias, 1999).

Segundo Aquino (2010), as causas da desertificação nas zonas de clima árido, semiárido e subúmido seco se devem, sobretudo, pelo fato de que, normalmente, são praticadas atividades agropecuárias com cultivo sob irrigação, agricultura de sequeiro e solos para pastoreio extensivo. Além disso, tem-se a atividade mineradora que, como já visto, compromete o ambiente quando não se utiliza o manejo apropriado.

Em síntese, os impactos negativos resultam do manejo inadequado, da falta de política de uso e ocupação da terra, da elevada concentração populacional e desconsideração das fragilidades do ambiente.

Entendendo que qualquer atividade pode gerar modificações consideráveis no ambiente, a ocorrência de impactos maiores em bacias hidrográficas se deve mais pela ocupação de forma desordenada e pela inserção de atividades bastante impactantes em regiões mais vulneráveis às modificações no meio natural.

Desse modo, é importante considerar toda e qualquer forma de uso e ocupação relacionando-as aos processos naturais que ocasionam alteração no ambiente. Segundo Aquino (2010), as características naturais do ambiente como a cobertura vegetal de cerrado e caatinga, associados a processos erosivos pré-existentes e os núcleos urbanos em expansão, também podem ser condicionantes no processo de degradação.

Conforme a intensidade com que as atividades são realizadas, os problemas anteriormente citados podem surgir ou mesmo chegar a acelerar o processo de degradação, consequentemente há um aumento de áreas suscetíveis à desertificação.

A bacia hidrográfica do rio São Nicolau possui o relevo esculpido pela drenagem formando paisagens ruiniformes nessa região de domínio semiárido. Nos estudos realizados sobre a região do Piauí onde a bacia está inserida observa-se que muitos foram feitos apenas em forma de macrozoneamentos territoriais, tendo poucos trabalhos com maior nível de detalhamento o que é necessário a um bom planejamento. Nesse sentido, são ausentes informações específicas da dinâmica ambiental, ficando, muitas vezes, somente dados superficiais.

Por isso, objetivou-se realizar a análise da bacia hidrográfica do rio São Nicolau-PI a partir dos parâmetros morfométricos associados aos aspectos físicoambientais e as formas de uso e ocupação no intuito de compreender a dinâmica natural da área.

A expectativa é que essa pesquisa contribua para formular planejamentos mais viáveis e condizentes com a realidade da área estudada, podendo contribuir com medidas de conservação e controle de uso e ocupação levando em consideração as limitações do ambiente em questão. Espera-se também, somar-se a um banco de dados para pesquisas futuras.

Material e Métodos

Realizou-se o levantamento de informações pré-existentes da área de estudo, a qual foi caracterizada quanto aos aspectos ambientais (geologia, geomorfologia, clima, solo e vegetação). Para tanto, foi realizado o levantamento bibliográfico e cartográfico da área, cujas informações coletadas serviram de base para a caracterização físicoambiental.

O geoprocessamento, a partir de técnicas de sensoriamento remoto e fotointerpretação de imagens, destaca-se como uma técnica bastante útil na análise ambiental em bacias hidrográficas, além de, em curto espaço de tempo, gerar quantidade significativa de informações.

Para a localização da área de estudo foram usados os *shapes* de Hidrografia do Estado do Piauí disponibilizados pela ANA do qual se extraiu a drenagem e delimitou a bacia de São Nicolau, com auxilio do *software Arcgis* 10.1.

A fim de extrair elementos a respeito da geologia/geomorfologia, as cartas temáticas do RADAM Brasil e documentos do Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2006) foram utilizados como base de informações. Na confecção do mapa utilizou-se como base cartográfica os *shapes* de geologia disponíveis no *site* da CPRM.

Visando conhecer a cobertura vegetal da região usou-se imagens de satélite Landsat TM disponíveis no site do INPE, das datas de 07 de agosto de 1989 e de 07 de julho de 2010 para efeito de comparação da cobertura nesse intervalo de tempo e de checagem da cobertura vegetal com a detectada no campo em termos de densidade. Essas imagens foram úteis também para a análise do uso e cobertura do solo e para posterior confecção do mapa.

As imagens *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM (2010) cedidas pela Embrapa permitiram realizar o mapa de declividade da bacia e traçar o perfil longitudinal da mesma utilizando-se, respectivamente, dos *softwares Arcgis 9.3; 10.1* e do *global mapper* que permitiram o manuseio e fotointerpretação dessas imagens. Estes *softwares* também foram essenciais na confecção dos mapas temáticos e no cruzamento entre eles, de acordo com os objetivos da pesquisa.

Foram utilizadas, também, imagens do *Google Earth* obtidas nos anos de 2002 e 2003 para a obtenção de maiores informações sobre a área.

Utilizaram-se dados no formato *shapefile* para a espacialização das informações obtidas.

O levantamento das formas de uso e ocupação foram feitas através de imagens do satélite LANDSAT 5tm disponível do mês de julho de 2010 e tratadas no *software Arcgis* 10.1. Essa data foi escolhida por ser a mais recente disponível no momento e por possuir uma resolução melhor, ou seja, sem muitas interferências tais como nuvens.

Os materiais cartográficos foram obtidos por meio do Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE), Agencia nacional de águas (ANA), Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), da Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA) e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Com auxílio dos *softwares Arcgis 10.1*, *Global Mapper* 12 e *Surfer* 10 foi possível a elaboração dos mapas, dos perfis de elevação, bem como possibilitaram a extração das informações da morfometria e o cálculo dos parâmetros analisados na bacia do rio São Nicolau-PI.

A Tabela 1 mostra como estão dispostos os parâmetros classificados e ordenados, segundo Tonello (2005), conforme as características morfométricas.

Tabela 1. Características morfométricas de bacias hidrográficas. Fonte. Tonello (2005).

Características morfométricas	**Tipos de análise**
Geométricas	Área total
	Perímetro total
	Coeficiente de compacidade (Kc)
	Fator de forma (F)
	Índice de circularidade (IC)
	Padrão de drenagem
Relevo	Orientação
	Declividade mínima
	Declividade média
	Declividade máxima
	Altitude mínima
	Altitude média
	Altitude máxima
	Declividade média do curso d'água principal
Rede de drenagem	Comprimento do curso d'água principal
	Comprimento total dos canais d'água
	Densidade de drenagem
	Ordem dos cursos d'água.

Os índices morfométricos necessários à compreensão do arranjo espacial da bacia foram ordenados como mostra a Tabela 2, tendo como base a classificação de Tonello (2005) para o estudo da morfometria.

Tabela 2. Parâmetros morfométricos utilizados no estudo da bacia de São Nicolau. Fonte. Santiago (2014).

Características morfométricas	**Tipos de análise**
Geométricas	Área total
	Perímetro total
	Forma da bacia
	Densidade dos rios
Relevo	Declividade média (hipsometria)
	Amplitude Altimétrica
Rede de drenagem	Hierarquia fluvial
	Comprimento do curso d'água principal
	Densidade de drenagem
	Sinuosidade dos cursos

A área da bacia (A) e o perímetro total foram calculados com o auxílio do *Arcgis 10.1* utilizando a ferramenta calculo geométrico. A forma da bacia foi calculada traçando-se a figura geométrica retangular, a que melhor compreendeu a área da bacia. Em seguida, fez-se a relação da área através da fórmula:

$$\text{If} = 1 - (\text{Área K} \cap \text{L})/(\text{Área K} \cup \text{L})$$

no qual, K = área da bacia e L = área da figura.

Para a hipsometria do terreno utilizou-se de imagens SRTM: SB-24-Y-A, SB-24-V-C, SB-23-X-D, as quais foram trabalhadas no programa *Arcgis 10.1.* Para a amplitude altimétrica da bacia utilizou-se a seguinte fórmula:

$$Hm = p1 - p2$$

a qual corresponde à diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura (ponto baixo - p2) e a altitude do ponto mais alto situado na bacia (ponto alto - p1). Teve-se o auxílio do *software Global Mapper.*

A densidade dos rios foi obtida pela expressão:

$$Dr = N/A$$

que é a relação existente entre o número de rios (N) e a área da bacia (A).

Na hierarquia fluvial da bacia considerou-se o critério de Horton (1945), modificado por Strahler (1952), mostrando a extensão da ramificação da bacia, de acordo com a Figura 1.

O comprimento do rio principal (L) foi calculado a partir da distância medida entre a foz e o mais alto ponto, acompanhando, paralelamente, o rio principal em linha reta.

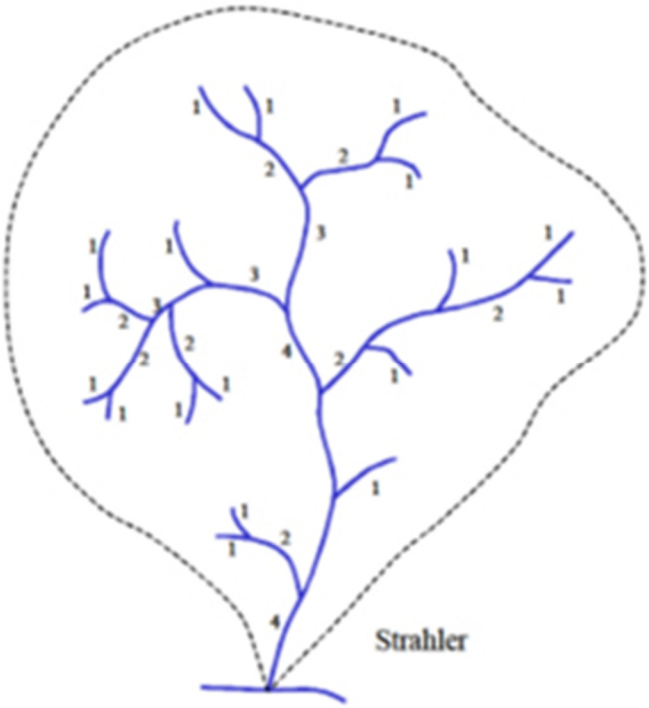

Figura 1. Ordenação da Rede de Drenagem a Partir do Método de Strahler. Fonte. Rennó e Soares (2013).

A densidade de drenagem foi obtida pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água e a área total da bacia por meio da fórmula:

$$D_D = \sum \frac{\text{canais}}{A}$$

O índice de sinuosidade da bacia foi baseado no método de Marcuzzo et al. (2012), utilizando a fórmula:

$$\text{Is} = 100\,(\text{L} - \text{Ev})/\text{L}$$

onde: Is é o índice de sinuosidade; (*Ev*) é a nascente mais distante medida em linha reta e (*L*) é o comprimento do canal principal. Segundo os autores, o índice de sinuosidade possui as seguintes classes, conforme o Quadro 1.

Quadro 1. Classes de Índices de Sinuosidade. Fonte. Marcuzzo et al. (2012).

Classe	**Descrição**	**Limites (%)**
I	Muito reto	< 20
II	Reto	20 a 29
III	Divagante	30 a 39,9

IV	Sinuoso	40 a 49,95
V	Muito sinuoso	>50

Resultados e Discussão

Para melhor compreender as características fisicoambientais realizou-se a setorização da bacia de São Nicolau em seções denominadas alto, médio e baixo curso. Essa divisão se deu a partir da hipsometria, da análise do perfil longitudinal e dos limites hidrológicos da área. Nisso, é possível observar características bem distintas nos diferentes setores da mesma (Figura 2).

O alto curso tem como limites altimétricos os valores de 850 m a 406 m e totaliza uma área de 3.306,46 km^2; o médio curso está situado entre os limites de 406 m a 228 m, correspondendo a cerca de 1.660, 17 km^2; e o baixo curso se encontra entre as cotas altimétricas de 228 m a 50 m, totalizando 423,17 km^2.

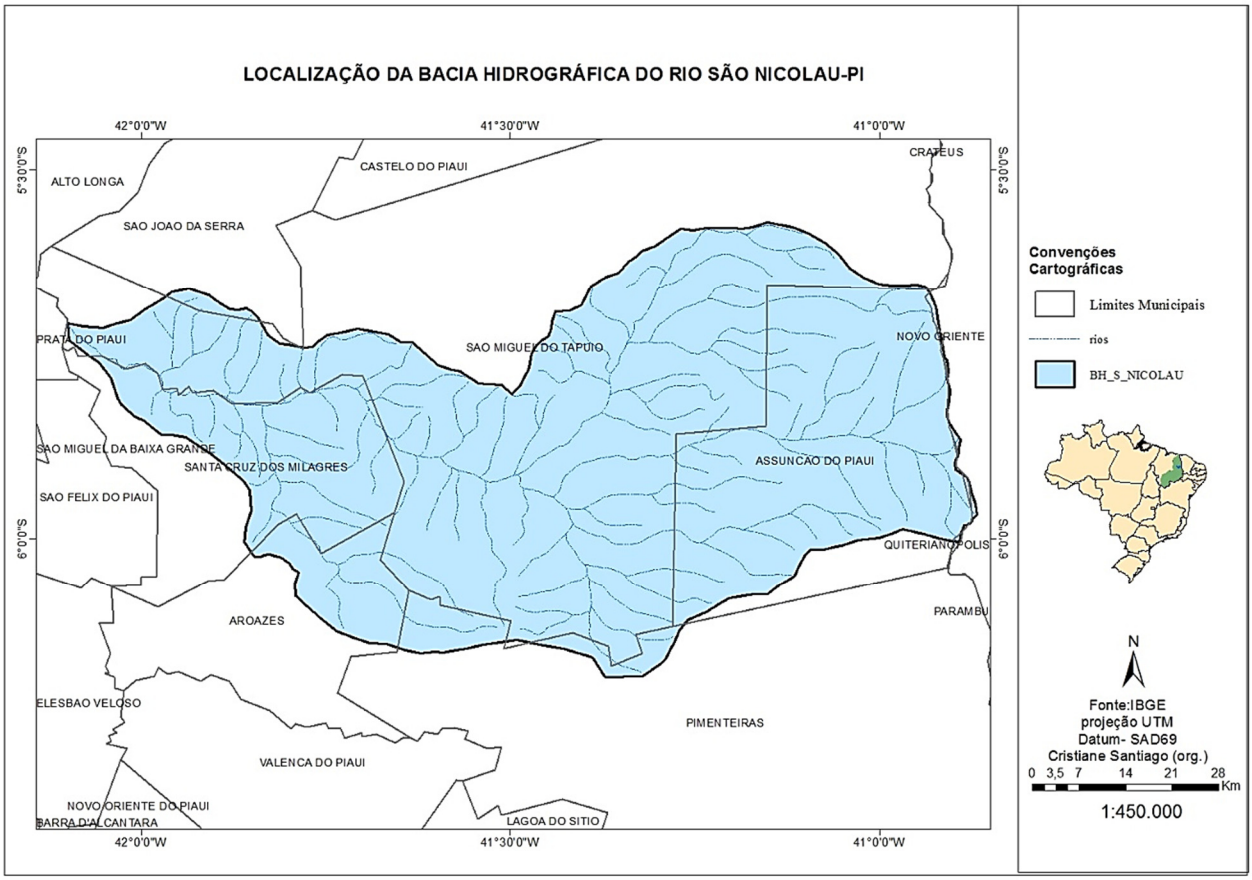

Figura 2. Localização da bacia do Rio São Nicolau-PI. Fonte. Santiago e Gomes (2013).

Características fisicoambientais da bacia do rio São Nicolau

A área de estudo está inserida na bacia sedimentar do Parnaíba. Ela constitui, em sua geologia, Depósitos Colúvio–Eluviais do Período Tércio-Quartenário da Era Cenozoica formado por sedimentos arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos.

Também estão presentes vestígios da Formação Sardinha, em pequena escala, no baixo curso do rio com presença de basaltos e diabasios do Período Cretáceo da Era Mesozoica, como mostra a Figura 3 (Brasil, 2006b). Há, ainda, a presença da Formação Poti, constituída no Período Carbonífero da Era Paleozóica. Ela é composta de arenitos folhelhos e siltitos, com depósitos formados em ambientes deltaico e litorâneo.

Na região da bacia de São Nicolau existe parte da Formação Longá no médio e baixo curso. Ela se constitui de folhelhos e siltitos, cuja formação está associada a ambientes de sedimentação marinho raso. Há ainda a Formação Cabeças (alto e médio curso), constituída de arenitos e siltitos depositados em ambientes fluviais, estuário e marinho raso.

A bacia ainda possui grandes extensões de terras sobre a Formação Pimenteiras, mais visível no alto e médio curso da bacia, a qual apresenta folhelhos, siltitos, presença de arenitos em ambiente de sedimentação marinho raso. Todas estas são do

Período Devoniano, da Era Paleozóica (Brasil, 2006b).

Contudo, a maior parte da bacia tem em sua geologia a presença da Formação Serra Grande a qual é predominante no alto curso e possui conglomerados, arenitos e intercalações de siltitos e folhelhos cuja formação está associada à ambiente fluvial entrelaçado, marinho raso e glacial, tendo ela se originado no Paleozóico/Siluriano.

A caracterização geológica da área pode ser simplificada na Figura 4.

A geologia do terreno dá base a um relevo caracterizado pela ausência de grandes elevações, predomínio de chapadões, com formas tabulares de modestas altitudes sendo entrecortados pela drenagem (Aquino, 2002).

As formas de relevo da bacia, segundo Aguiar (2004), compreendem superfícies tabulares reelaboradas, confirmando um relevo plano com partes suavemente onduladas e altitudes variando de 150 a 300 m; as superfícies tabulares cimeiras (chapadas altas) apresentam relevo plano, com altitudes entre 400 a 500 m e grandes mesas recortadas, superfícies onduladas com relevo movimentado, encostas e prolongamentos residuais de chapadas, desníveis e encostas mais acentuadas de vales, elevações (serras, morros e colinas), com altitudes de 150 a 500 m (Figura 5).

Figura 3. Depósitos de basalto da Formação Sardinha na região do baixo curso do rio. Fonte. Santiago (2014).

No alto e médio curso predominam superfícies tabulares estruturais submetidas a processo de pedimentação, com chapadas geralmente areníticas, cuestiformes ou não, limitadas por festonados localmente dissimulados por pedimentos.

Relevo dissecado em cristas com controle estrutural e tipo de dissecação em áreas pedimentadas, onde o escoamento concentrado ressalta detalhes da estrutura; possui ainda dissecado de mesas, formas resultantes da evolução do processo de dissecação em interflúvios tabulares; dissecado em ravinas e vales encaixados, dissecação resultante da evolução do dissecado em ravinas; e, forma de dissecação superficial resultante do entalhamento por drenagem incipiente (Aquino, 2002).

No que se refere ao solo, percebe-se o predomínio dos solos litólicos, dos latossolos amarelos e de areias quartzosas por toda a área de estudo. A região apresenta características pouco distintas, com solos provenientes da alteração de arenitos, siltitos, folhelhos, lateritos e calcários.

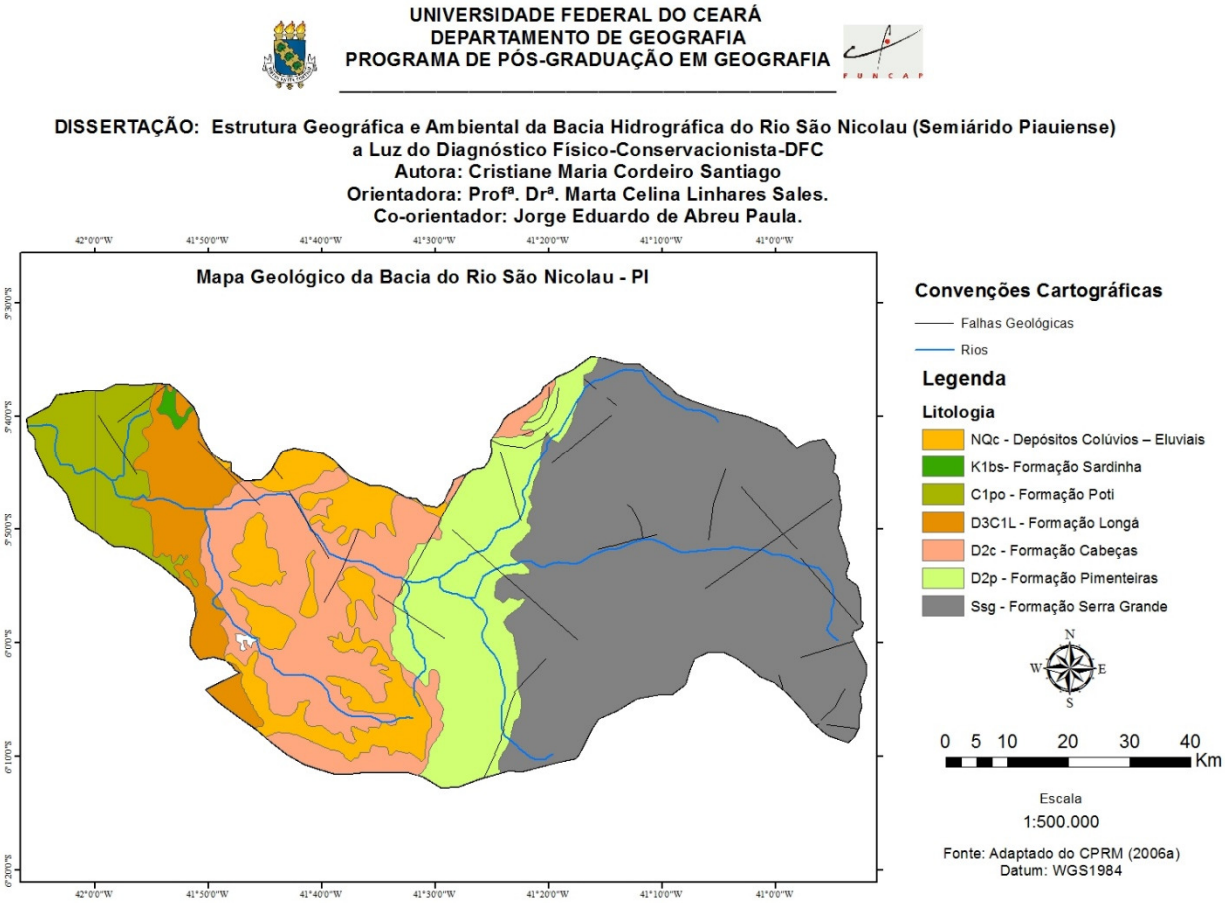

Figura 4. Geologia da área da bacia de São Nicolau-PI. Fonte. BRASIL/CPRM (2006b).

Figura 5. Exemplo do relevo da região com superfícies onduladas e chapadas na região do alto curso (Assunção do Piauí). Fonte. Santiago (2014).

Como o tipo de cobertura vegetal, além da influência do clima também se deve ao tipo de solo presente na região, considera-se que a flora apresenta-se com predomínio dos cerrados e caatingas sobrepondo-se em diversos pontos tornando-se, muitas vezes difícil definir os limites entre elas (Piauí, 2010).

Contudo, observa-se a predominância de espécies típicas da caatinga como cactos, juremas, marmeleiro e ramo de bezerra no Alto Curso (Figura 6).

Vegetação de transição ao longo do Médio Curso, com grandes extensões de cocais de espécies como babaçu (em grande quantidade), carnaúba, buriti, além da oiticica caracterizando a vegetação típica de transição entre caatinga e vegetação da Floresta Amazônica (Figura 7).

À proporção que se segue em direção ao baixo curso, percebe-se uma maior incidência de plantas típicas do cerrado e cerradão como o caju, embaúba, ipê, dentre outras. Mas, ainda é possível ver resquícios da vegetação caatinga nessa região.

Apesar dessa diversidade, considera-se o clima predominante na região da bacia o semiárido quente, com presença de 6 a 8 meses secos e temperatura média maior que 18°C durante todo o ano (Brasil, 2006a).

Figura 6. Vegetação típica da Caatinga na região de Assunção do Piauí (alto curso). Fonte. Santiago (2014).

O clima é um dos elementos que mais influência na dinâmica e define a paisagem de um ambiente. Em muitos casos, ele é estudado a partir das características físicas do local. Por exemplo, a partir da observação do tipo de vegetação dominante em uma determinada região pela qual pode ser possível definir as condições climáticas reinantes que, por sua vez, mostra o tipo de clima da região observada.

Atuam no território Piauíense a Massa Equatorial Continental (mEc), vinda da Amazônia, e a Massa Equatorial Atlântica (mEa). Também influenciam nessa região, porém com pouca força, as massas polares atingindo a parte sul e centro do Estado (Jacomine, 1986). Além dessas, estão também presentes a ZCIT ao norte e a ZCAS, influenciando, especialmente, o sul Piauíense.

Nisso, no Estado, aproximadamente 60% da precipitação pluviométrica anual ocorre, em média, nos meses de janeiro, fevereiro e março. Nos meses de junho a setembro, os valores observados de chuva são mínimos, representando menos de 5% do total anual (Piauí, 2010).

Figura 7. Coqueiral identificando vegetação de transição no médio curso, região de São Miguel do Tapuio. Fonte. Santiago (2014).

Segundo dados impetrados de 11 postos pluviométricos da área, verificaram-se os seguintes aspectos: A precipitação pluviométrica média da bacia referente a uma série histórica de 28 anos obtida entre os anos de 1963 a 1990 se insere nas Isoietas entre 599,5 a 1.190,4 mm. Percebe-se também, maior período de incidência de chuvas no baixo curso o qual tem uma média de 948,9mm anuais.

O médio curso aparece com média de precipitação de 907,6 mm. Enquanto que o alto curso apresenta de 7 a 8 meses secos e possui média de precipitação de 813,22 mm anuais.

Das características hidrológicas, é importante frisar que o Piauí constitui a maior parte da Bacia Hidrográfica do Parnaíba a qual abrange ainda os Estados do Ceará e Maranhão. Das sub-bacias presentes no Piauí destaca-se a do rio Poti. Este rio nasce no Ceará e corre para o leste adentrando o Piauí até desembocar no rio Parnaíba em Teresina.

Dentre os principais afluentes que compõem a bacia do Poti destaca-se o rio São Nicolau, que como a maioria, tem sua nascente no semiárido.

Os principais rios e riachos que ajudam a formar a bacia do rio São Nicolau são: Serra Negra, Maneta, Bastião, Salobro, da Tábua, Salitre, Bambuzeiro, São Miguel, Tamboril e Vitória.

As características litológicas da região, de maneira geral, propiciam a boa permeabilidade e porosidade permitindo significativa infiltração de água e armazenando grandes quantidades nos aquíferos da região, portanto, sendo o principal fornecedor desse elemento nos períodos de seca (Aguiar, 2004).

Diante do conhecimento a respeito das características físicas da bacia do rio São Nicolau e para somar à ela de modo a obter o maior número de informações da área, foram extraídos parâmetros morfométricos essenciais para análise.

Parâmetros morfométricos da bacia

A bacia possui uma extensão de 5.389,8 km^2 e perímetro igual a 369,618 km.

A forma geométrica que melhor se apropriou do formato da bacia foi o retângulo, portanto, sendo esta a forma da área estudada. Com essa informação é possível constatar que a bacia denota mais tempo para que toda sua água seja drenada para o rio principal e em diferentes pontos. E, associando aos tipos de solo da área, com destaque para a presença de solos predominantemente arenosos, e um terreno

basicamente de rocha sedimentar, esta bacia não é propicia a inundações e enchentes.

Caso ela tivesse uma forma circular a possibilidade de chuvas intensas atingirem toda a sua extensão de uma só vez poderia concentrar um enorme volume de água no rio principal, o que acabaria gerando enormes problemas, principalmente, às comunidades ribeirinhas.

Contudo, existem indícios de enchentes e inundações especialmente no baixo curso do rio. É nesta região que está em fase de construção a Barragem dos Milagres, a qual, dentre outras funções, visa diminuir os riscos de enchentes e inundações na região bem como nas áreas a jusante, inclusive na cidade de Teresina que quase sempre sofre com alagamentos e enchentes devido o grande volume de água advinda do rio Poti no qual o rio são Nicolau tem forte contribuição no período de chuva. A área de inundação da barragem possui 2.658 ha de extensão.

Foi constatado que a densidade dos rios da bacia de São Nicolau é de 0.017, significa que existe menos de um canal por quilômetro quadrado. Portanto, é uma região pobre em cursos d'água superficiais. Nesse aspecto, a utilização de águas subterrâneas para consumo humano e animal é mais frequente, por conta dos aspectos hidrogeológicos da bacia.

Estando a bacia de São Nicolau em uma área sedimentar, é possível certificar-se que há maior número de poços do que açudes, isso, devido a facilidade e rapidez em se encontrar água no subsolo, sendo, predominantemente, a fonte de consumo d'água especialmente no período seco, já que o clima semiárido, com regime de chuvas escasso, e o predomínio de rios do tipo intermitentes não favorecem uma boa disponibilidade hídrica na região.

A água dos poços é considerada de boa qualidade para o consumo humano e animal, ela é fonte também para a realização das atividades desenvolvidas na região, em especial, a pecuária e agricultura.

Considerando as características do relevo, o perfil da bacia mostra-se no sentido Leste-Oeste (Figura 8), observa-se que o ponto mais alto localiza-se na cidade de Assunção do Piauí estando a uma altitude de, aproximadamente, 750 m acima do nível do mar. O curso do rio percorre cerca de 137 km até a Foz estando a uma altitude de 50 m. Com isso, ela possui uma amplitude altimétrica de 700 m.

Em termos de complemento, a curva hipsométrica também foi analisada. Ela é considerada a representação gráfica do relevo médio de uma bacia. Com isso, através da hipsometria é possível observar a disposição do relevo da bacia de São Nicolau.

Ela se apresenta com altitudes que variam de 750 m declinando até uma altitude de 50 m no exutório como mostra a Figura 9.

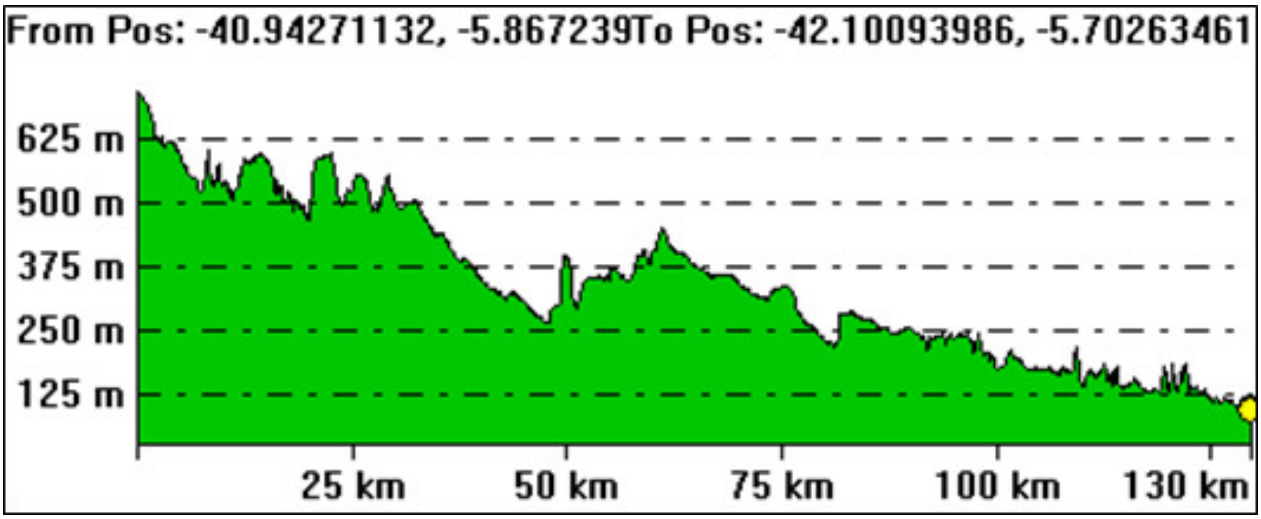

Figura 8. Perfil Topográfico da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau-PI. Fonte. Santiago/Aplicativo Global Mapper, (2014).

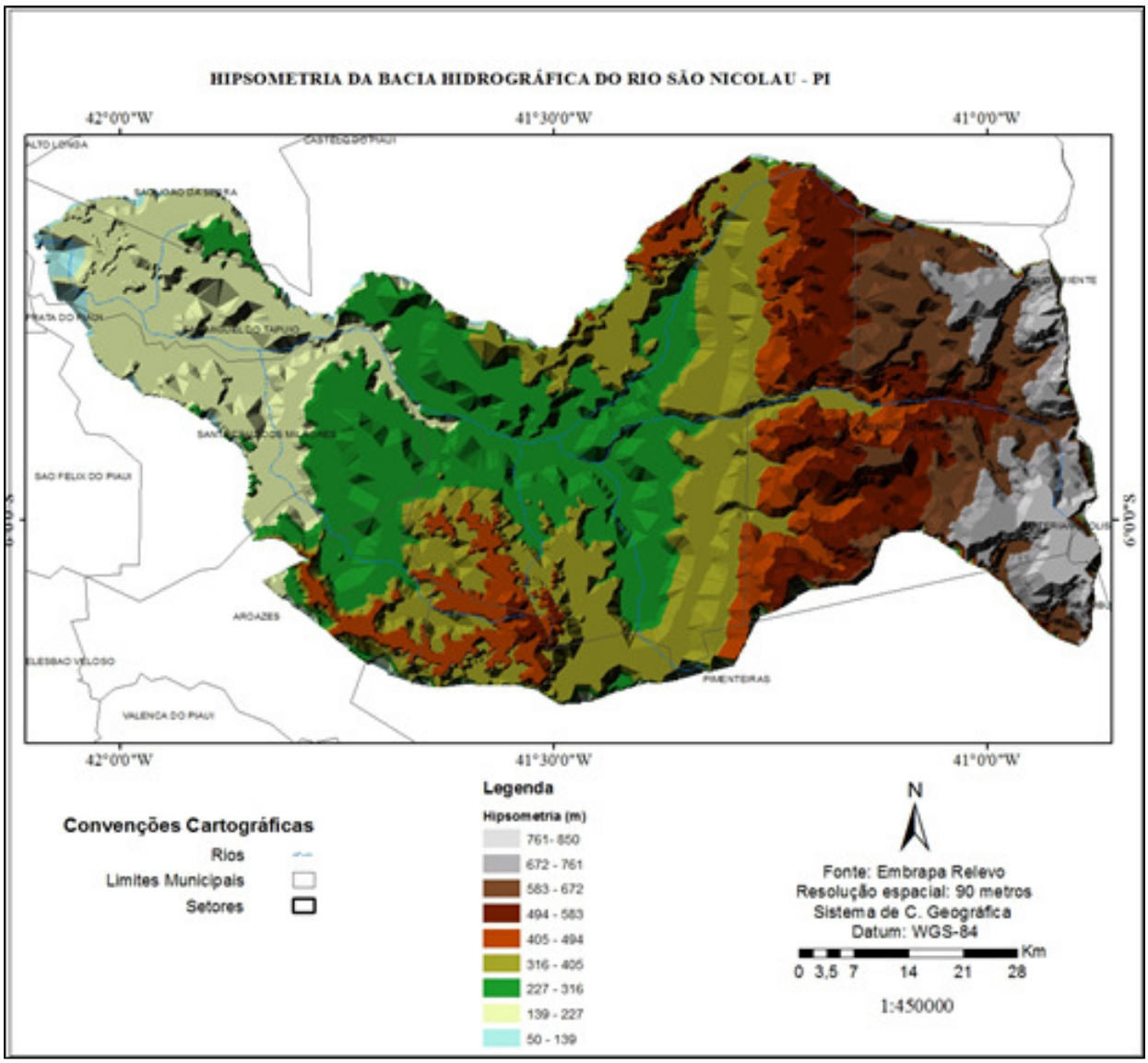

Figura 9. Nível hipsométrico da bacia. Fonte. Miranda (2005).

Hierarquia fluvial

Seguindo o critério introduzido por Horton em 1945, e modificado por Strahler em 1952, os rios foram classificados, de modo que a ordem do rio principal mostre a extensão da ramificação da bacia.

Os rios possuem a seguinte classificação: 94 canais foram considerados de 1ª ordem; 35 de 2ª ordem, 11 de 3ª ordem e, 1 de 4ª ordem mostrando a extensão da ramificação. Assim, a bacia estudada apresenta hierarquia de 4 ª ordem, como exposto na Figura 10.

O comprimento do rio principal (L) possui uma extensão de 137,13 km. O valor da densidade de drenagem foi de 0,27 km.km^{-2} considerada regular, segundo a classificação de Villela e Mattos (1975).

Esse valor afirma que a bacia apresenta menor escoamento superficial da água o que conduz a uma menor intensidade dos processos erosivos na formação dos canais. Justifica-se, também, pela geologia da área, uma vez que ela está basicamente sobre rochas sedimentares, ou seja, de fácil permeabilidade, que, junto com o tipo climático atuante, contribuem para a presença de rios intermitentes.

Segundo Salles (2010), a Densidade de Drenagem (DD) também é um fator preponderante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia, sendo seus valores contribuintes para o planejamento e manejo de uma bacia hidrográfica.

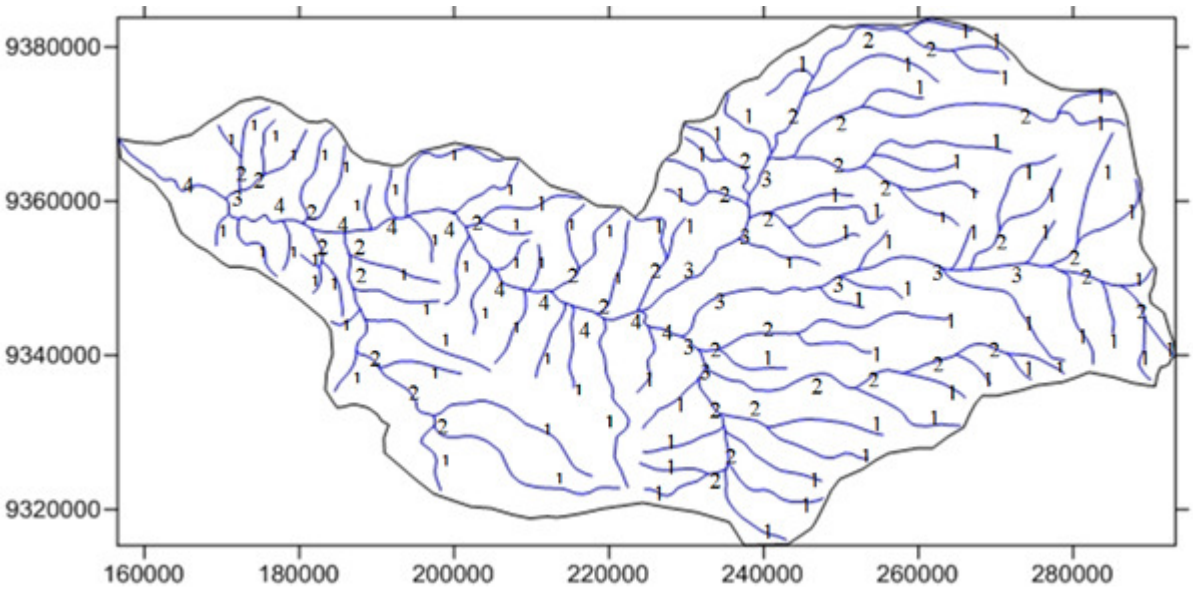

Figura 10. Hierarquia Fluvial da Bacia do Rio São Nicolau-PI. Fonte. Santiago (2014).

O resultado obtido para o índice de sinuosidade da bacia foi de 16,36, o que demonstrou ser um rio bastante retilíneo. Esse tipo mostra que os canais estão associados a um leito rochoso e resistente a atuação da água, entretanto, é importante ressaltar que a bacia em análise encontra-se em um terreno em grande parte sedimentar. Nesse caso é relevante associar esse dado ao relevo da mesma, que, por seguir um constante declive para o oeste, pode ter influenciado na disposição dos rios.

Em resumo, os dados obtidos na análise estão dispostos no Quadro 2 para melhor compreensão das características morfométrica da bacia.

A fim de complementar a análise da bacia é importante considerar, ainda, o uso e ocupação, onde na mesma, o número e a variedade de atividades são bastantes significativos.

Quadro 2. Características Morfométrica da BH de São Nicolau-PI. Fonte: Santiago (2014).

Características físicas	**Resultados**
Geométricas	
Área da bacia-A	5.389,8km ^{2}
Perímetro	369,618km
Forma da bacia	Retangular
Densidade dos rios	0,017
Relevo	
Hipsometria	Max. 750m/Min.50m
Amplitude altimétrica	700m
Rede de drenagem	
Hierarquia fluvial	Ordem 4
Comprimento do rio principal - L	137.13km
Densidade de drenagem (km.km^{-2})	0,27km.km^{-2}
Sinuosidade do curso	16,36

As atividades vão desde a piscicultura, agricultura, em pequena e larga escala, em especial no alto e médio curso (Figura 11), ovinocaprinocultura, extrativismo, mineração até o turismo religioso, presente especificamente em Santa Cruz dos Milagres, região do baixo curso do rio (Figura 12).

Devido a atividade turística, Santa Cruz dos Milagres é considerada a cidade com a maior romaria do Piauí e a terceira maior do Nordeste

chegando a receber mais de 50 mil romeiros por ano. As romarias ocorrem em três períodos: na Invenção de Santa Cruz que inicia dia 2 de maio e se estende por três dias.

Figura 11. Área preparada para plantio na região do médio curso (São Miguel do Tapuio). Fonte. Santiago (2014).

Em setembro ocorre a axaltação de Santa Cruz, no período de 5 a 14, ocasião em que a cidade se transforma e se torna intrafegável ao receber cerca de 50 mil pessoas praticamente sem infraestrutura para acomodar com conforto a todos. Muitas pessoas se alojam em barracas nas matas e nas proximidades da igreja.

O Encontro dos Santos é a última manifestação religiosa anual e é realizada no mês de novembro aglomerando em torno de 30 mil pessoas vindas de vários municípios (Oliveira, 2011).

Com o crescimento da romaria e a valorização do local houve uma transformação espacial muito rápida no que tange a investimentos em infraestruturas visando o desenvolvimento da economia local com base no turismo da região.

Dentre os investimentos destaca-se a construção da orla de São Nicolau, concluída em 2011, e a Barragem dos Milagres, em fase de construção no rio São Nicolau para fins de abastecimento hídrico.

A construção da Barragem Santa Cruz dos Milagres visa beneficiar uma população de cerca de 22.500 habitantes através de abastecimento d'água das cidades circunvizinhas, irrigação ao longo do vale do Rio São Nicolau, à jusante e montante da barragem, além de aproveitamentos hidroagrícolas em torno do lago a ser formado, além de piscicultura e lazer. Visa, ainda, possivelmente, a implantação de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) nessa região do baixo curso (IDEPI, 2006). Isso porque, há constantes quedas de energia nas cidades próximas, especialmente na alta temporada.

Os investimentos apontam, também, para a infraestrutura implantada nos pontos mais visitados da cidade (igreja principal, na cruz do alto do morro e na fonte dos milagres). Destaca-se, também, a construção do novo santuário, de conjuntos habitacionais e de pequenas edificações para os vendedores além de melhorias para a recepção de visitantes, de pavimentação de ruas e vias de acesso à cidade, dentre outras.

Em geral, há predomínio da pecuária extensiva. As áreas de maior adensamento populacional concentram a comercialização dos produtos oriundos na área da bacia (IBGE, 2010).

Sem dúvida, as condições ambientais da região favorecem a expansão dessa atividade na bacia, como tipos de solo e revelo plano.

Figura 12. Multidão se dirigindo à Igreja Matriz em Santa Cruz dos Milagres. Fonte. Portal O Dia (2013).

Segundo os dados do IBGE (2010) a área compreendendo os cinco municípios apresenta uma população total de 46.943 habitantes. Mas, é importante ressaltar que apenas duas sedes estão completamente inseridas na bacia: Assunção do Piauí e Santa Cruz dos Milagres. Visto que o número de habitantes de Assunção do Piauí no censo de 2010 foi de 7.503 e Santa Cruz dos Milagres foi de 3.794, tem-se que mais de 11.297 pessoas ocupam a área da bacia já que não é possível totalizar o número populacional pelos povoados existentes nessa região.

Entretanto, entende-se que as formas de uso e ocupação podem impactar negativamente tanto o meio econômico, no que se refere à concentração de renda, como também o meio sociocultural e ambiental seja qual for a região.

Nesse sentido, foram detectadas áreas com acelerados processos erosivos por toda a bacia. Essa problemática está associada tanto ao manejo inadequado do solo quanto às características físicas da região.

Para que ocorra forte erosão do solo é preciso atentar para dois fatores cruciais além do tipo de solo da área: água e o relevo. No entanto, como analisado anteriormente, esses dois fatores não são quesitos preponderantes na bacia para classificá-los como causa maior da erosão. Com isso, o manejo impróprio também pode tornar propício o surgimento da erosão (Figura 13) e, consequentemente, favorece o aparecimento de outros problemas, como o assoreamento dos rios, o aumento de áreas impróprias para a agricultura, entre outros. Tais circunstâncias podem comprometer a qualidade da água e a diminuição ainda mais desse recurso.

Das áreas prejudicadas por esse tipo de impacto observou-se que sua maioria pertence a regiões com predomínio da atividade agrícola e de pastejo. Outras foram encontradas em localidades onde há presença de atividade mineradora como extração de material para construção civil, e em regiões próximas a rodovias.

A erosão compromete o desenvolvimento das atividades agrícolas, pois também afeta a qualidade do solo o qual deixa de ter as condições e propriedades necessárias para o cultivo das lavouras sendo uma das causas do abandono dessas terras a posteriore.

Figura 13. Erosão e surgimento de Voçoroca presente no médio curso da bacia. Fonte: Santiago (2014).

É possível observar de forma sobressalente deposição de lixo, lançamento de dejetos no leito dos rios e nas proximidades dos cursos fluviais nas áreas urbanizadas por conta também da infraestrutura de saneamento ainda precária.

Também é destaque os problemas relacionados à atividade turística onde o número de pessoas aumenta consideravelmente em três épocas do ano em que são realizados os festejos da cidade (Santiago e Santos, 2013).

Nisso, nessa área da bacia, existem problemas relacionados ao saneamento ambiental, drenagem urbana, falta d'água e energia durante a alta temporada refletindo a infraestrutura inadequada para atender a demanda e resultando em impactos ambientais consideráveis (Santiago e Santos, 2013).

Destaque para a poluição do rio São Nicolau devido à presença de edificações utilizadas como bares e restaurantes às margens do rio e em seu leito na sede municipal de Santa Cruz dos Milagres (Figura 14).

Figura 14. Construções erguidas e ocupação no leito do rio leito em Santa Cruz dos Milagres (baixo curso). Fonte: Santiago (2014).

A atividade agropecuária e a atividade turística geram problemas significativos também, pois a perda da qualidade ambiental se reflete no desenvolvimento da região, e vice-versa. A ocupação em locais indevidos como encostas, margens dos rios; a extração de madeiras, muito comum na região, e, também, a mineração, formam um conjunto de fatores que contribuem para mudanças significativas na dinâmica do relevo da bacia, consequentemente, em outros aspectos físicos do ambiente, inclusive nos aspectos morfométricos.

Com isso, o investimento em planejamento e gestão poderia minimizar os impactos negativos e gerar resultados mais favoráveis aos envolvidos inclusive ao meio físico.

Sugerem-se algumas proposições no intuito de somar para um planejamento e gestão mais adequada de modo que a região alcance um crescimento mais próximo possível dos padrões conservacionistas.

A adoção de medidas que visem a educação ambiental na esfera local, sem dúvidas, traria efeitos positivos em todas as esferas; a criação de um conselho local, que promova reuniões e palestras a toda a sociedade sobre a convivência sustentável com os recursos naturais; estímulo a diversificação das práticas agrícolas que se mostrem adequadas ao modelo de produção familiar e manejo adequado, em substituição as práticas rudimentares; fomentação de estudos para a criação de unidades e Planos de Recuperação das Áreas Degradadas (PRAD), assim como, medidas de prevenção e controle de erosão, são algumas das propostas.

Também é condizente realizar programas que instruam os produtores sobre o manejo e uso do solo, e reflorestamento de áreas degradadas que também somam ótimas medidas de planejamento e gestão.

Como na bacia de São Nicolau, predomina a extração de água por poços tubulares e artesanais seria conveniente também realizar um controle maior desde a perfuração dos poços até a utilização do recurso hídrico. A CPRM é o órgão que faz o levantamento do número de poços e as condições que eles se encontram no que se refere a ph d'água e vazão. No entanto, é necessária uma fiscalização mais próxima, de modo que haja maior controle na extração, qualidade, armazenamento e destino da água extraída.

Sem duvida, a criação de um comitê para a bacia se faz necessário, tanto pela sua grande extensão, uma vez que o comitê existente abrange toda a bacia do Parnaíba, quanto pela diversidade de atividades desenvolvidas, precisando então de uma atuação a nível local. Um comitê iria auxiliar na tomada de decisão, organizar e ter um maior controle no uso dos recursos presentes na bacia.

Indiscutivelmente, isso iria permitir a resolução de conflitos e evitar o surgimento de subversões que por ventura vierem acontecer. Além disso, promoveria a disseminação de informação a todos os envolvidos auxiliando no crescimento sustentável dessa região do semiárido Piauíense.

Conclusão

1- A análise da bacia com base nos aspectos físicos em termos geológico-geomorfológico, solo e vegetação, associada à análise dos parâmetros morfométricos possibilitou a compreensão da sua dinâmica bem como as limitações quando considerada as forma de uso e ocupação.
2- Os índices apresentados quanto à densidade dos rios, densidade de drenagem, hipsometria do terreno e forma geométrica mostraram que a bacia não está susceptível a erosão linear se analisar que os resultados quanto a drenagem fora considerado regular estando associada à altitudes pouco elevadas.
3- Contudo possui suas limitações por conta das atividades desenvolvidas que, em muitos casos, utiliza-se de técnicas inadequadas propiciando desgaste e deterioração do solo, em especial. Também por apresentar um regime de chuvas irregular e pela presença de grandes extensões de áreas desmatadas. Nesse caso, um solo exposto tende a sofrer com processos erosivos de diferentes formas seja laminar, linear ou até evoluir para voçorocas, como visto na região.
4- Nesse caso ressalta-se que as formas de uso e ocupação (agricultura, pecuária extensiva, turismo etc.) contribuem de certa forma, para o surgimento de problemas ambientais, pois a bacia apresenta-se com mudanças na paisagem quanto à cobertura vegetal a qual foi retirada para a implantação das atividades ali desenvolvidas, para habitação ou pela extração de madeira.
5- A bacia apresentou-se de 4ª ordem o que denota pouca ramificação, sendo também que seus cursos possuem pouca sinuosidade e estão numa área sedimentar que denota fácil infiltração. Nesse contexto, considera-se ainda que os rios, em sua maioria, são alimentados a partir do lençol freático permanecendo seco durante o período de estiagem.
6- Conclui-se, através dos índices, que a bacia não está propícia a inundações e enchentes se forem considerados os aspectos geológicos-geomorfológicos e o solo da área e por apresentar uma forma alongada, o que permite mais tempo para que toda a água seja drenada para o rio principal. Nesse aspecto, ressalta-se que ela possui um escoamento mais lento no exutório.
7- Mesmo assim, é necessária uma intervenção no sentido de adequar o planejamento às limitações dessa unidade de forma a não permitir que surjam complicações maiores futuramente àqueles que se utilizam dos recursos disponíveis.
8- Nesse sentido, espera-se que estas informações contribuam para planejamentos mais condizentes com a realidade e para a construção de projetos viáveis à utilização sustentável dos recursos nessa região do semiárido Piauíense.

Agradecimentos

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará - UFC e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP.

Referências

Aguiar, R.B., 2004. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, Estado do Piauí: diagnóstico do município de Santa Cruz dos Milagres. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Fortaleza.

Aquino, C.M.S., 2002. Suscetibilidade geoambiental das terras secas do Estado do Piauí à desertificação. Dissertação (Mestrado). Fortaleza, UFC.

Brasil, 2006a. Plano de ação para o desenvolvimento integrado da Bacia do Parnaíba, PLANAP: síntese executiva: Território Vale do Sambito. CODEVASF, Brasília.

Brasil., 2006b. Mapa geológico do Estado do Piauí. CPRM/ Ministério de Minas e Energia/ Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. 2ª Versão.

Christofoletti, A., 1980. Geomorfologia, 2 ed. Edgard Blucher, São Paulo.

Cunha, S.B., Guerra, A.J.T. (orgs.), 2009. A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens. Rio de janeiro: Bertrand Brasil. 5a ed.

Dias, M. (coord.), 1999. Manual de Impactos Ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas. Banco do Nordeste, Fortaleza.

Evangelista, F.S.M., 2009. Análise geoambiental da bacia hidrográfica do rio Mucambinho – CE. Dissertação (Mestrado). Fortaleza, UFC.

Horton, R., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hidrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of American Bulletin 56, 807-813.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Censo demográfico 2010 – Contagem da população. Disponível: www.ibge.gov.br. Acesso: 03 abr. 2012.

Jacomine, P.K.T., 1986. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Piauí. EMBRAPA, Rio de Janeiro.

Marcuzzo, F.F.N. et al., 2012. Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Paraíba. João Pessoa – PB. In: Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.

Miranda, E. (coord.), 2005. Brasil em relevo/ Campinas: Embrapa monitoramento por satélite, 2005. Disponível: www. Relevo br. CNPM. EMBRAPA.br. Acesso: 14 ago. 2013.

Mota, S., 2008. Gestão Ambiental de Recursos Hídricos, 3 ed. ABES, Rio de Janeiro.

Oliveira, V.P.V., 2011. Indicadores Biofísicos de Desertificação Cabo Verde/África. Mercator 10, 147-168.

Piauí, 2010. Programa de ação estadual de combate à desertificação, PAEPI. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente, Teresina.

Portal O Dia., 2013. Multidão se dirigindo à Igreja Matriz em Santa Cruz dos Milagres.

Queiroz, P., 2010. Planejamento ambiental aplicado a um setor do médio curso da bacia hidrográfica do rio Pacoti – CE. Dissertação (Mestrado). Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. UFC.

Rennó, C., Soares, J., 2013, Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica. Disponível: www.dpi.inpe.br/cursos/modelagem/cap2. Acesso: 14 de julho de 2013.

Salles, M.M., 2010. O uso do SIG na analise morfometrica da bacia hidrográfica do rio são João- MG. Manuscrito.

Santiago, C.M.C., Gomes, L.C.F., 2013. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau-PI.

Santiago, C.M.C., 2014. Depósitos de Basalto da Formação Sardinha na região do baixo curso do rio.

Santiago, C.M.C., 2014. Exemplo do relevo da região com superfícies onduladas e chapadas na região do alto curso (Assunção do PI).

Santiago, C.M.C., 2014. Vegetação típica da Caatinga na região de Assunção do PI (alto curso).

Santiago, C.M.C., 2014. Coqueiral identificando vegetação de transição no médio curso, região de São Miguel do Tapuio.

Santiago, C.M.C., 2014. Perfil Topográfico da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau-PI.

Santiago, C.M.C., 2014. Hierarquia Fluvial da Bacia do Rio São Nicolau-PI.

Santiago, C.M.C., 2014. Área preparada para plantio na região do médio curso (São Miguel do Tapuio).

Santiago, C.M.C., 2014. Erosão e surgimento de Voçoroca presente no médio curso da bacia.

Santiago, C.M.C., 2014. Construções erguidas e ocupação no leito do rio leito em Santa Cruz dos Milagres (baixo curso).

Santiago, C.M.C., 2014. Características Morfométrica da BH de São Nicolau-PI.

Santiago, C.M.C., 2014. Parâmetros morfométricos utilizados no estudo da bacia de São Nicolau.

Santiago, C.M.C., Santos, G.B., 2013. Modificações na paisagem do baixo curso do rio São Nicolau- PI resultantes do turismo religioso. In: Camacho, R.G.V. (org.). Sociedades Sustentáveis: estratégias para convivência com o semiárido, 1 ed. UERN/BC, Mossoró, v.1, pp. 524-528.

Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Halen: Transactions: American Geophysical Union 38, 913-920.

Teodoro, V.L.I., Teixeira, D., Costa, D.J.L., Fuller, B.B., 2007. Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. Revista UNIARA 20, 137-156.

Tonello, K.C., 2005. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. Tese (Doutorado) Viçosa, UFV.

Villela, S.M., Mattos, A., 1975. Hidrologia aplicada. McGraw Hill, New York.